PAIDEIA XXI

Vol. 11, Nº 2, Lima, julio-diciembre 2021, pp. 291-306
ISSN Versión Impresa: 2221-7770; ISSN Versión Electrónica: 2519-5700
http://revistas.urp.edu.pe/index.php/Paideia

ORIGINAL ARTICLE / ARTÍCULO ORIGINAL



APPLICATION OF EFFICIENT MICROORGANISMS IN THE DECOMPOSITION OF AFRICAN PALM RESIDUES (*ELAEIS GUINEENSIS* JACQ. 1897) FOR THE PRODUCTION OF COMPOST

APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN LA DESCOMPOSICIÓN DE RESIDUOS DE PALMA AFRICANA (*ELAEIS GUINEENSIS* JACQ. 1897) PARA LA ELABORACIÓN DE COMPOST

Javier Fernando Paredes-Molina[1]; Alex Alberto Dueñas-Rivadeneira[2] & Freddy Eli Zambrano-Gavilanes[1,3*]

[1] Instituto de Posgrado, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador. E-mail: jfparedes84@yahoo.es
[2] Departamento de Procesos Agroindustriales. Facultad de Ciencias Zootécnicas. Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. E-mail: alex.duenas@utm.edu.ec
[3] Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. E-mail: freddy.zambrano@utm.edu.ec

* Corresponding author: freddy.zambrano@utm.edu.ec*

Javier Fernando Paredes-Molina: https://orcid.org/0000-0002-8199-5585
Alex Alberto Dueñas-Rivadeneira: https://orcid.org/0000-0002-8603-0694
Freddy Eli Zambrano-Gavilanes: https://orcid.org/0000-0003-0004-9122

ABSTRACT

Oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq. 1897) is a crop that produces the most significant amount of oil in the world. During the crude palm oil extraction process, tons of waste is generated, such as rachis, fiber, and mud, that can be used for the production of organic matter and used as organic fertilizer. Thus, the objective of the present investigation was to evaluate the effect of the application of efficient microorganisms (ME) in the decomposition of African palm residues (mud, fiber, and rachis) for the compost elaboration. For the compost elaboration, six treatments were established (spines with efficient microorganisms, spines without efficient microorganisms, fiber with efficient

doi:10.31381/paideia.v11i2.4085

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

microorganisms, fiber without efficient microorganisms, sludge with efficient microorganisms, and sludge without efficient microorganisms), with three repetitions for each one, in a completely random design. The following variables were analyzed: pH, temperature, humidity, and the nutritional content of each compost made. Higher nutrient concentrations were found in compost made with ME sludge, determining that bacteria play an important role in decomposition with a high rate of organic degradation in composting.

Keywords: biofertilizer – fiber – microorganisms – rachis – slurry

RESUMEN

La palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq. 1897) es un cultivo que produce la mayor cantidad de aceite vegetal del mundo. Durante el proceso de extracción del aceite de palma crudo, se generan t de residuos como; raquis, fibra y lodo que pueden ser aprovechados para la producción de materia orgánica y ser utilizados como abono orgánico. Así el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos eficientes (ME) en la descomposición de residuos de palma aceitera (lodo, fibra y raquis) para la elaboración de compost. Para la producción del compost fueron establecidos seis tratamientos (raquis con microrganismos eficientes, raquis sin microrganismos eficientes, fibra con microrganismos eficientes, fibra sin microrganismos eficientes, lodo con microrganismos eficientes y lodo sin microrganismos eficientes), en un diseño completamente al azar. Fueron analizadas las siguientes variables: pH, temperatura, humedad y el contenido nutricional de cada compost elaborado. Las mayores concentraciones nutricionales fueron encontradas en el compost elaborado con lodo con ME determinando que las bacterias desempeñan un papel importante en la descomposición con una alta tasa de degradación orgánica en el compostaje.

Palabras clave: biofertilizante – fibra – lodo – microrganismos – raquis

INTRODUCCIÓN

La palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq. 1897) es un cultivo que produce la mayor cantidad de aceite del mundo, con producción mundial estimada de 62,35 M de t en la cosecha 2014/2015, con un ciclo de producción de 25 a 30 años, tiene alta capacidad de secuestro de carbono (de Jesús-Borges *et al.*, 2016; Da Costa *et al.*, 2018).

Países de clima tropical como Malasia e Indonesia que poseen las condiciones favorables para este tipo de cultivo poseen alrededor del 80% de la producción internacional en el sector, por lo que el precio internacional depende de las condiciones de oferta y demanda que generen; así, el aceite de soya interviene en el comportamiento del aceite de palma, ya en el caso del Ecuador es generado aproximadamente 500.000 t métricas del producto, que equivale al 1% de la producción mundial (Toral & Espinoza, 2018).

El ciclo productivo de la palma de aceite alcanza los 25 años, debido a la dificultad de cosechar los frutos a más de doce metros de altura las plantas son eliminadas. Algunas investigaciones mencionan que la cantidad de troncos y hojas que quedan calculándolo en base seca, es de 86,6 t ha^{-1} y 16,5 t ha^{-1} respectivamente, considerando una densidad de siembra de 143 plantas por ha con una edad de 29 años (Garcia-Nunez *et al.,* 2016). Además, del tronco y hojas de palma aceitera se obtienen biomasa de racimos de fruta vacía, cáscara de palmiste, fibra de mesocarpio y efluente de molino de aceite de palma se genera en los molinos de procesamiento de palma aceitera. La biomasa residual sólida comprende tres tipos: la tusa, el cuesco y la fibra del mesocarpio. En promedio se extrae el 21% del aceite contenido en los racimos de fruto fresco, una fracción del aceite permanece impregnada de la biomasa (Sousa-Santos *et al.,* 2020; Nair, 2021).

La palmicultura requiere una gestión adecuada de los subproductos que origina. El principio 5 de la RSPO ("Roundtable Sustainable Palm Oil") establece en sus criterios 1, 2, 3, 4 y 6 que el reciclaje, la mitigación de impactos ambientales negativos y la eficacia energética son los ejes principales de desarrollo de una palmicultura ambiental y económicamente sostenible (Potter, 2011). Dentro de este contexto, el compostaje se constituye en una alternativa que puede ser considerada por los palmicultores o por las empresas productoras del mismo para solucionar el problema de utilización de subproductos y retorno de nutrientes al agroecosistema de la palma de aceite (Castañeda & Romero, 2012).

Durante el proceso de extracción de aceite de palma crudo, se generan t de residuos como; raquis, fibra y lodo que pueden ser aprovechados para la producción de materia orgánica y ser utilizados como abono orgánico, el cual tiene el potencial de solucionar el problema ambiental y la degradación de los suelos (Reinosa-Pulido, 2009).

Una producción a escala mayor genera una gran cantidad de materiales de desecho que de alguna manera debe ser tratado, por lo tanto, se plan-

tea utilizar los materiales de desecho que se generan en mayor cantidad en un proceso de compostaje industrial para transformar material no útil en un abono orgánico con fines comerciales (Echeverría, 2015).

En Córdoba, Argentina fue efectuado compost de residuos domiciliarios, agropecuarios y de restos de poda de la localidad usando microorganismos eficientes (ME) para su descomposición, los autores demostraron que se logra una significativa disminución en el volumen de residuos y que se obtiene un producto de gran valor agropecuario (Monguzzi *et al.,* 2020). Montoya *et al.* (2020), mencionan que elaborar compost utilizando ME disminuye el proceso de descomposición de 80 a 40 días.

El principal objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos eficientes en la descomposición de residuos de palma africana (lodo, fibra y raquis) para la elaboración de compost.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó durante el periodo de septiembre a noviembre del 2018 en las instalaciones de la Extractora Natural Habitat Ecuador SA, ubicada en la Provincia de Esmeraldas, Cantón Quinindé, Parroquia Viche (0°40’40.4”N; 79°32’24.8”W). El clima del sector se caracteriza por ser tropical, la temperatura media anual es de 25,6°C, la precipitación es de 1806 mm al año (Laverde & Poveda, 2012).

Los residuos de las biomasas fueron extraídos a partir de la extracción de aceite de RFF (racimos de fruta fresca) de palma, como se evidencia en la Figura 1.

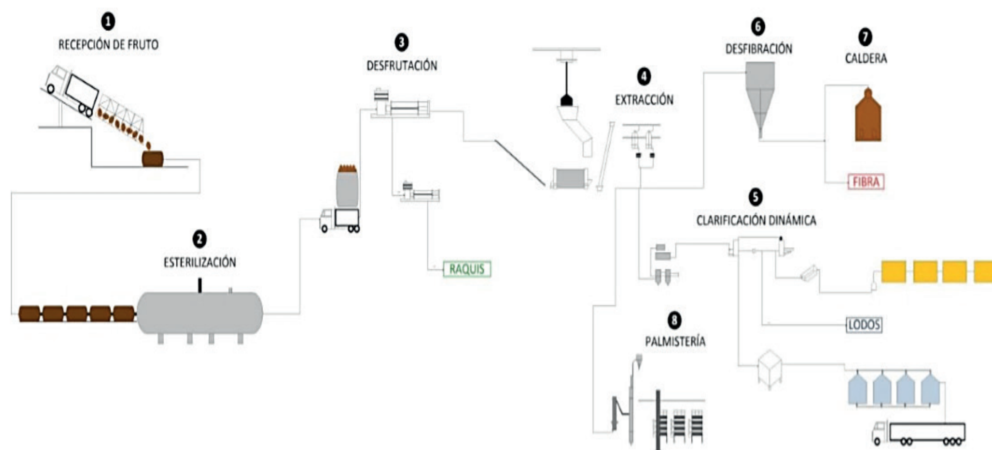


Figura 1. Diagrama del proceso de obtención de residuos (Espinosa, 2015).

Los desechos que se obtienen de la producción del aceite de palma y palmiste son: Raquis de palma, Cascarilla de nuez, Ceniza, Fibra y Lodos de Tricanter. En el caso de las cenizas y las cascarillas de nuez, éstas son utilizadas en plantaciones como material de construcción de vías y control de crecimiento de maleza permitiendo reutilizar la totalidad de estos dos tipos de desecho. Por lo tanto, los desechos de total enfoque del presente trabajo de investigación fueron; el raquis, las fibras y los lodos del tricanter.

Raquis: Constituye aproximadamente el 50% de la masa total del fruto, está conformado por un pedunculo central y espigas donde se ubican los frutos a manera de racimo (Figura 2 A), después de la recepción pasa por un tratamiento de cocción (Figura 2 B) en las autoclaves seguidamente ingresa al proceso de desfrutación, la nuez es separada del raquis. El raquis que se encuentra ya sin fruto pasa por un sistema de prensado donde se extrae cualquier remanente de aceite y además se reduce el tamaño de este, como se puede apreciar en la figura 2C (Espinosa, 2015).



Figura 2. A. Raquis con fruta fresca. B. Raquis con fruta cocida. C. Raquis prensado después del proceso de desfrutación.

Fibras: Son desechos que se originan a partir del fruto, que al pasar por un digestor se dividen en la nuez, la fibra y un aceite mezclado con lodos (Licor de Prensa); tanto la nuez como el licor de prensa pasan a recibir otros tratamientos para obtener productos, pero la fibra es utilizada para generar energía dentro de la planta extractora y también es utilizada para preparación de compost su contextura es fibrosa con partículas pequeñas aceitosa al tacto, como se observa en la Figura 3 (Espinosa, 2015).



Figura 3. Residuos de fibra procedentes del fruto.

Los lodos: Son un subproducto del proceso que se realiza al ingresar el Licor de prensa al equipo "tricanter". Este equipo se encarga de separar tres componentes del licor de prensa: agua (que es enviada a la planta de tratamiento de aguas), aceite (que es enviado para su posterior purificación y envasado) y finalmente el lodo (que es utilizado en el proceso de compostaje) (Espinosa, 2015).

El tiempo de evaluación fue de 6 semanas, se inició con una temperatura de 28°C.

Cada fuente de biomasa (raquis, fibra y lodo) fue caracterizada mediante análisis físico-química en el laboratorio de AGRORUM/Eurofins, donde se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 1).

Tabla 1. Caracterización físico-química de las biomasas.

		RAQUIS		
Parámetro	**Unidad**	**LOQ**	**Método**	**Resultado**
Materia seca 105° C	%	≥ 1	Gravimetría/C5110015	56,2
Conductividad Eléctrica a 25°C	dS/m	0,084 - 50	Conductimetría/ C5110229	1,14
Materia orgánica	% s.m.s	≥ 5	Gravimetría/C5110115	90,5
Nitrógeno (N) KJELDAHL	% s.m.s	≥ 0,5	Titulación volumétrica/ C5110230	0,82
Relación C/N	%	≥ 0,29	Calculo	55,18

Continúa Tabla 1

Continúa Tabla 1

Parámetro	Unidad	LOQ	Método	Resultado
FIBRA				
Parámetro	**Unidad**	**LOQ**	**Método**	**Resultado**
Materia seca 105° C	%	≥ 1	Gravimetría/C5110015	93,6
Conductividad Eléctrica a 25°C	dS/m	0,084 - 50	conductimetría/ C5110229	2,79
Materia orgánica	% s.m.s	≥ 5	Gravimetría/C5110115	79,9
Nitrógeno (N) KJELDAHL	% s.m.s	≥ 0,5	Titulación volumétrica/ C5110230	1,77
Relación C/N	%	≥ 0,29	Calculo	22,53
LODO				
Parámetro	**Unidad**	**LOQ**	**Método**	**Resultado**
Materia seca 105° C	%	≥ 1	Gravimetría/C5110015	1,31
Conductividad Eléctrica a 25°C	dS/m	0,084 - 50	Condutrimetría/ C5110229	1,4
Materia orgánica	% s.m.s	≥ 5	Gravimetría/C5110115	69,8
Nitrógeno (N) KJELDAHL	% s.m.s	≥ 0,5	Titulación volumétrica/ C5110230	1,77
Relación C/N	%	≥ 0,29	Calculo	2,85

Tratamientos y manejo del experimento

Para la elaboración de los compost fueron establecidos seis tratamientos, con tres repeticiones por cada uno, en un diseño completamente al azar, los cuales se describen a continuación:

1) Raquis con microrganismos eficientes
2) Raquis sin microrganismos eficientes
3) Fibra con microrganismos eficientes
4) Fibra sin microrganismos eficientes
5) Lodo con microrganismos eficientes
6) Lodo sin microrganismos eficientes

Cada unidad experimental fue conformada por camas con dimensión de 1 m de largo x 1,5 de ancho y 35 cm de altura, fueron colocados en cada cama 45 kg de biomasa (raquis, fibra y lodo), como se muestra en la Figura 4.

Las camas fueron elaboradas con materiales del medio y plástico negro, la aplicación de ME de cada cama se realizó con un recipiente plástico y se procedió a voltear cada cama con una pala manual dos veces al día, durante la mañana y la tarde.



Figura 4. Cama de tratamientos con fibra.

Los microrganismos eficientes EM1, se usaron en cantidades de 0,6 L por cada repetición, los cuales fueron obtenidos a través de la AGEHART (Asociación de egresados de la heart) mismos que tienen la siguiente composición o ingredientes activos: bacterias acidolácticas (10^3 UFC), bacterias fototroficas (10^3 UFC) y levaduras (10^3 UFC).

Fue mantenida la humedad constante (55%) en cada pila y determinada con ayuda de un tensiómetro por las seis semanas de duración del periodo de descomposición mediante la aplicación de agua subterránea, además diariamente fueron volteadas las diferentes pilas del compost, aplicando la metodología de Quinatoa-Medina (2012).

Durante el periodo de elaboración del compost se tomaron datos del pH con ayuda de un pHmetro portátil (HANNA), la temperatura de los tratamientos con ayuda de un termómetro para compost análogo tipo punzón (Reotemp), en la región central y laterales de la pila del compost y la humedad mediante pérdida de peso con ayuda de una estufa a 70°C.

Después de las seis semanas de descomposición se procedió con la toma de muestra de cada uno de los tratamientos para ser analizados nutricionalmente, determinando el contenido de nitrógeno, potasio, calcio, magnesio, cobre, zinc, hierro, boro, manganeso y cadmio de cada una de las mezclas.

Análisis estadísticos

Se realizó un análisis de varianza (ADEVA) para determinar la diferencia entre los tratamientos. Fue realizada la prueba de Tukey ($p<0,05$), para comparación entre medias de los tratamientos usando el programa INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2018).

Aspectos éticos

El presente trabajo no presenta ningún conflicto ético.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 5 es mostrado el pH de los diferentes compost elaborados a partir de residuos de palma africana (raquis, fibra y lodo) para la elaboración de compost con y sin microrganismos eficientes. En todos los tratamientos no fueron encontradas diferencias significativas en las seis semanas estudiadas. Durante la primera semana (p = 0,25) los valores del pH oscilaron entre 6,33 y 5,33, para la segunda semana (p = 0,22) de 6,33 a 4,67, en la tercera semana (p = 0,20) de 6,33 a 5,5, en la cuarta semana (p = 0,62) de 6,33 a 5,67, en la quinta (p = 0,35) de 6,67 a 5,67 y en la sexta semana de descomposición (p = 0,09) de 7,33 a 5,67 de pH, valores diferentes que los obtenidos por Riquelme (2019) que durante las 16 semanas del proceso de compostaje con raquis de palma, el pH se mantuvo en un rango de entre 8 y 8,5 mencionando que la alcalinidad no tuvo una variación drástica y partir de la semana 11 se estabilizó en un valor de 8,45. De igual manera valores similares fueron obtenidos por Kananam *et al.* (2011) con pH 7,50 a 8,60 en la descomposición de la fibra de palma africana para compost.

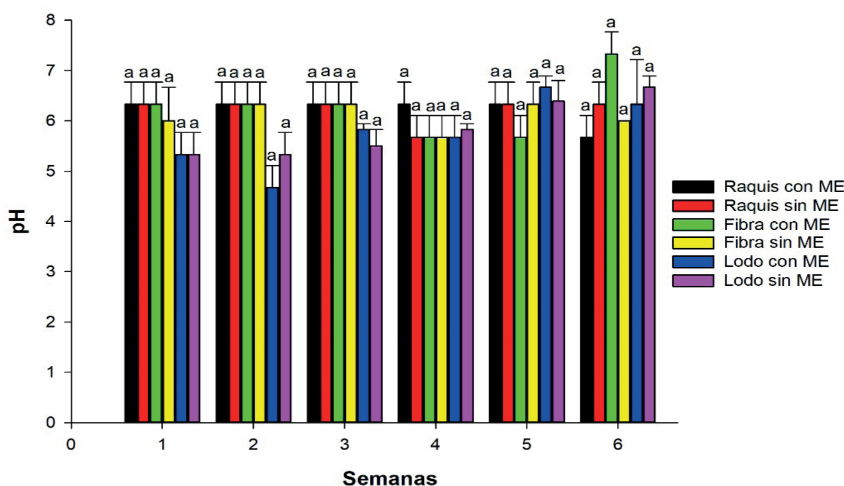


Figura 5. pH de compost elaborado con residuos de palma africana (raquis, fibra y lodo) para la elaboración de compost con y sin microrganismos eficientes. (Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente entre sí según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

Evaluando la temperatura de los diferentes compost (Figura 6), en las semanas 1(p = 0,98), 2 (p = 0,58), 3 (p = 0,24) y 4 (p = 0,72) no fueron encontradas diferencias significativas entre los tratamientos. En la semana 5 fueron encontradas diferencias (p < 0,0001) con mayor altura en los compost elaborados con Fibra + ME y Lodo + ME con valores de 35,11 y 34,63 °C respectivamente, siendo diferentes de los demás compost evaluados. En la semana 6 igualmente que en la 5 fueron encontrados mayores valores (p

< 0,0001) para Fibra + ME (36,33 °C) y Lodo + ME (35,67 °C), difiriéndose de los otros estudiados.

En compost realizado del raquis de la extracción de aceite de palma africana para la empresa extractora Rio Manso EXA SA. Riquelme (2019) menciona que desde el inicio del proceso hasta la semana 3 pudo apreciar la etapa mesófila, y partir de ahí hacia la semana 6 la temperatura llegó hasta los 54ºC debido al aumento de la actividad microbiológica que se da durante la etapa termófila. A partir de este punto la temperatura desciende de forma considerable debido a la disminución de las fuentes de carbono y nitrógeno hasta estabilizarse donde la temperatura fue constante a 30ºC, igualmente a lo sucedido en la presente investigación que en los tratamientos en que fue usado el raquis estuvo la temperatura uniforme cerca de 30 °C. Sin embargo esta investigación difiere de Torres *et al.* (2004) quienes mencionan que la temperatura desciende paulatinamente en las semanas posteriores hasta situarse entre 40-45°C cuando se alcanza la madurez del compost de subproductos de la palma, corroborando con la investigación elaborada por Saavedra & Carolina (2013) que obtuvieron temperatura al segundo mes de compostaje entre 27 y 28,5 °C y después de 17 a 17.5°C, mencionando que temperaturas bajas es cuando se ha llegado a la maduración del compost según ese autor. Pero también temperaturas muy bajas impiden que los microrganismos ayuden en la descomposición, ocasionando ciertos problemas en la elaboración de los compost.

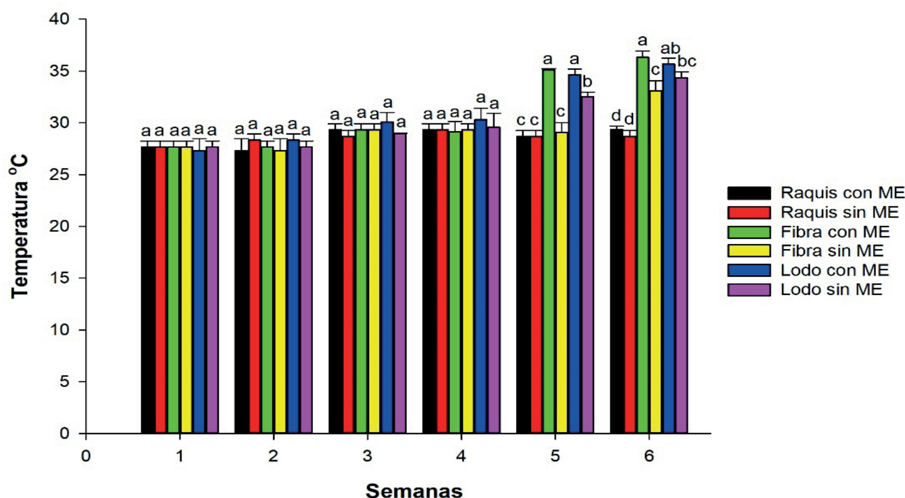


Figura 6. Temperatura (°C) de compost elaborado con residuos de palma africana (raquis, fibra y lodo) con y sin microrganismos eficientes. (Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente entre sí según la prueba de Tukey ($p≤0,05$).

El porcentaje de humedad en la primera semana (p = <0,0001) fue superior en los tratamientos que contenían lodo (con o sin ME), con medias de 59,33 y 59 % respectivamente, asimismo, se constató los mismos efectos en la segunda semana (p = 0,0014) con porcentajes de 58,67 y 58,33 respectivamente, valores diferentes de los demás compost elaborados (Figura 7). Torres *et al.* (2004) mencionan que una humedad inferior a 55% puede causar la muerte de los microorganismos descomponedores en las dos primeras semanas, además de que puede provocar pérdidas en N, por tal motivo en la presente investigación fue monitoreado diariamente la humedad para tener una óptima descomposición.

En la tercera semana (p = <0,02) fue superior el tratamiento del compost elaborado con lodo sin ME (55,67%), siendo diferente únicamente del compost 5 (Lodo con microrganismos eficientes) con 52,67 %. En cuanto a la cuarta semana (p = <0,0001) se encontraron medias más altas en los compost Raquis con ME y sin ME, y Fibra sin ME (54,89; 54,56 y 54,22 %), diferenciándose de los otros tratamientos analizados (Figura 9).

Efectos similares fueron encontrados en las semanas quinta (p = <0,0001) y sexta (p = 0,0001), destacándose los tratamientos conformados por los compost elaborados con Raquis con y sin ME y Fibra sin ME, para la quinta semana presentaron medias de 54,56; 53,89 y 53,89 % y en la sexta semana 54,89; 54,56 y 53,89 % respectivamente, siendo estos diferentes de los demás tratamientos evaluados (Figura 7).

En compost de fibra elaborado por Macias-Cadena (2017) encontraron humedad al inicio de 63% y 35% de humedad al finalizar el proceso, siendo estos valores deferentes que los obtenidos en la presente investigación en los tratamientos de fibra con o sin ME.

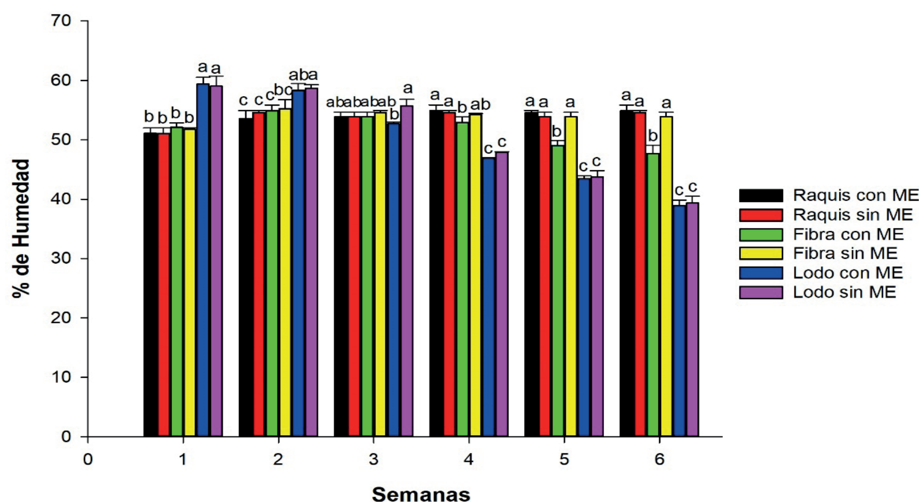


Figura 7. Porcentaje de humedad de compost elaborado con residuos de palma africana (raquis, fibra y lodo) con y sin microrganismos eficientes. (Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente entre sí según la prueba de Tukey (p≤0,05).

El contenido nutricional de seis tipos de compost elaborado con residuos de palma africana (raquis, fibra y lodo) con y sin microrganismos eficientes se encuentran en la Tabla 2. Para los porcentajes de concentración de N, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn y Cd fueron encontradas mayores concentraciones en el compost elaborado con Lodo con ME.

En el contenido de K y B mayor porcentaje de concentración se muestra en el compost con Fibra sin ME siendo diferente de los demás tratamientos. Amezquita (2018) en compost de fibra encontró entre 4,7% y 4,8% de K, porcentajes menores que los obtenidos en la presente investigación con o sin ME (23,59 y 24,42 % de K).

En compost de raquis obtenido por Ricardo *et al.* (2019) obtuvieron valores de 0,97% de N, 1,69% de K, estos valores son menores que los obtenidos en la presente investigación cuando se realizó el compost con raquis con o sin ME, igualmente valores menores fueron encontrados por Santos (2018) con raquis de palma con 0,9 % y Riquelme (2019) con 1,28% de N.

En investigación realizada por Macias-Cadena (2017) encontraron en compost de fibra valores de 0,7% de N y 1,2 %. Valores superiores fueron alcanzados por Santos (2018) en compost de fibra con 1,4% de N y por Amezquita (2018) con 1,4 y 1,3%, siendo estos valores menores que los obtenidos en la presente investigación cuando fue usado analizado el compost de fibra con o sin ME.

Estudiando el compost efectuado con lodo de la palma, Santos (2018) obtuvo 1,9% de N al finalizar su estudio, siendo valores inferiores que los determinados en este estudio con 3,48 y 2,59 con o sin ME.

Kananam *et al.* (2011) en investigación efectuada en la elaboración de compost de lodo de la palma africana determinaron que las bacterias desempeñan un papel importante en la descomposición con una alta tasa de degradación orgánica en el compostaje obteniendo 3,30 % N en 90 días, igualmente mayor valor fue encontrado en la presente investigación cuando fue usado ME con 3,48% de N, siendo este compost el que obtuvo mayor contenido de N que los otros estudiados en seis semanas de evaluación.

Los resultados muestran sus mayores contenidos de N a los 48 días (6 semanas) debido, a que los residuos en fermentación se encontraban en la fase termofílica en esta fase es donde los microorganismos se encuentran trabajando aceleradamente en el proceso de degradación de los tejidos vegetales.

Tabla 2. Contenido de macronutrientes de compost elaborado con residuos de palma africana (raquis, fibra y lodo) con y sin microrganismos eficientes.

Tratamientos	N %	K%	Ca%	Mg%	Cu%	Zn%	Fe%	B%	Mn%	Cd%
Raquis con ME	1,45 cd	15,34 f	3,76 f	1,50 f	0,02 f	0,03 f	1,85 d	0,001 f	0,039 f	0,000 c
Raquis sin ME	1,25 d	20,78 d	5,79 e	2,11 e	0,03 e	0,05 b	3,58 c	0,009 d	0,068 c	0,000 d
Fibra con ME	2,09 bc	23,59 b	6,90 d	3,13 d	0,05 d	0,03 e	0,62 f	0,016 b	0,058 d	0,000 cd
Fibra sin ME	1,71 cd	24,42 a	9,85 b	3,46 b	0,05 c	0,03 d	0,84 e	0,017 a	0,045 e	0,000 c
Lodo con ME	3,48 a	18,89 e	10,62 a	3,77 a	0,06 a	0,05 a	7,44 a	0,005 e	0,183 a	0,001 a
Lodo sin ME	2,59 b	21,91 c	8,85 c	3,33 c	0,05 b	0,05 c	5,77 b	0,011 c	0,158 b	0,001 b
p	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CV	8,77	0,02	0,05	0,04	0,07	0,17	0,05	0,36	0,14	2,07

Medias seguidas de la misma letra no difieren estadísticamente entre sí según la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). *p*= significancia. CV = coeficiente de variación.

El mayor contenido nutricional de raquis, fibra y lodo se dan con la ayuda de los EM, debido a su alto grado actividad microbiana y degradación de la materia orgánica convirtiendo los mismos en un producto rico en macro y micro elementos esenciales para nutrición del suelo, aporte de materia orgánica y a su vez como mejorador de la textura del suelo.

Fue evaluado el efecto de la aplicación de microorganismos eficientes en la descomposición de residuos de palma africana para la elaboración de compost durante seis semanas.

Mayores concentraciones nutricionales fueron encontradas en el compost elaborado con lodo con ME determinando que las bacterias desempeñan un papel importante en la descomposición con una alta tasa de degradación orgánica en el compostaje.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amezquita, A. J. 2018. *Nivel* óptimo de bioecol probac para la descomposición del escobajo de palma aceitera *(Elaeis Guineensis Jacq.) y nivel nutricional del compost en Ucayali.* Universidad Nacional de Ucayali, Perú.

Castañeda, T.G. & Romero, H.M. 2012. Compostaje de subproductos de la agroindustria de palma de aceite en Colombia: estado del arte y perspectivas de investigación. Boletín Técnico, 31: 1-52.

Da Costa, S.J.; Erasmo, E.A.L.; Silva, J. & Oliveira, T.C. 2018. Desempenho de híbridos de dendezeiro (*Elaeis guineenses* Jacq.) nas fases de pré-viveiro e viveiro. Journal of Neotropical Agriculture, 5: 34-39.

De Jesus-Borges, A.; Collicchio, E. & Campos, G.A. 2016. A cultura da palma de óleo (*Elaeis guineenses* Jacq.) no Brasil e no mundo: aspectos agronômicos e tecnológicos-uma revisão. Revista Liberato, 17: 65-78.

Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; Gonzalez, L.; Tablada, M. & Robledo, C. W. 2018. *InfoStat versión 2018.* [Software de cómputo]. Córdoba, Argentina, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Echeverría, N.A. 2015. *Desarrollo de un Sistema de Información Geográfica que permita la gestión integral de los cultivos de palma aceitera a través de la aplicación de sistemas de agricultura de precisión* (Bachelor›s thesis, Quito: USFQ), Ecuador.

Espinosa, J.P.E. 2015. *Caracterización y mejoramiento del compost de raquis de palma africana (Elaeis guineensis) de palmeras del Ecuador, campamento Shushufindi* (Doctoral dissertation, Universidad Internacional SEK), Ecuador.

Garcia-Nunez, J.A.; Ramirez-Contreras, N.E.; Rodriguez, D.T.; Silva-Lora, E.; Frear, C.S.; Stockle, C. & Garcia-Perez, M. 2016. Evolution of palm oil mills into bio-refineries: Literature review on current and potential uses of residual biomass and effluents. Resources, Conservation and Recycling, 110: 99-114.

Kananam, W.; Suksaroj, T.T. & Suksaroj, C. 2011. Biochemical changes during

oil palm (*Elaeis guineensis*) empty fruit bunches composting with decanter sludge and chicken manure. Science Asia, 37: 17-23.

Laverde, N. P. & Poveda, M. A. 2012. *Plan de desarrollo local de la parroquia Viche, cantón Quinindé, provincia de Esmeraldas.* Quito: UCE. http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/385

Macias-Cadena, S. C. 2017. *Propuesta de valorización de los residuos especiales generados en la extracción de aceite de palma africana-extractora Oleorios. Provincia de los Ríos, vía ventanas* (Bachelor›s thesis), Ecuador.

Monguzzi, F. N.; Mignone, R.; Hernández, J. F., & Dionisi, C. P. (2020) Aprovechamiento de residuos mediante el uso de microorganismo en el proceso de compostaje en la localidad de Unquillo, Córdoba. Nexo agropecuario, 8: 70-73.

Montoya, E.E.C.; Alcázar, M.M.V.; Córdova, F.B.H. & Sánchez, J.C. 2020. Utilización de microorganismos eficientes para la elaboración de compost a partir de residuos orgánicos. Sincretismo, 1: 45-48.

Nair, K.P. 2021. *Oil palm (Elaeis guineensis Jacquin).* In: *Tree Crops (pp. 249-285).* Springer, Cham.

Potter, L. 2011. La industria del aceite de palma en Ecuador: ¿un buen negocio para los pequeños agricultores?. Eutopía: Revista de Desarrollo Económico Territorial, 2: 39-54.

Quinatoa-Medina, M. J. (2012). *Estandarización del proceso de producción de compost con fines comerciales utilizando tres fuentes de inóculo con la Asociación Santa Catalina del Cantón Píllaro* (Bachelor's thesis). Ecuador.

Reinosa-Pulido, D.C. 2009. Costos ambientales en el proceso de extracción del aceite de palma: Estudio de un caso. Revista Venezolana de Gerencia, 14: 228-247.

Ricardo, S.E.L.; Veiguela, Y.R.; Rodríguez, T.M. & Sarmiento, J.C. 2019. Manejo del raquis generado en las extractoras de palma aceitera para la elaboración de Compost. Revista científica Ecociencia, 6: 1-17.

Riquelme, A.D.A. 2019. *Diseño de una planta procesadora de compostaje a partir del raquis de la extracción de aceite de palma africana para la empresa extractora Rio Manso EXA SA* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo), Ecuador.

Saavedra, T. & Carolina, G. 2013. *Producción de abono orgánico a partir de los subproductos de extracción de aceite de Palma Africana y su aplicación en cultivo de papa a escala de laboratorio* (Bachelor›s thesis, Quito, 2013.), Ecuador.

Santos, V. M. A. 2018. *Gestión de residuos sólidos orgánicos por técnicas de compostaje en la extractora Teobroma* (Bachelor›s thesis, Ciencias de la ingeniería e industrias facultad: Ingeniería ambiental y manejo de riesgos naturales) Ecuador.

Sousa-Santos, V.; Barrera Hernández, J.; Cabello Eras, J. J. & Sagastume, A. 2020. Evaluación del potencial energético de la biomasa residual del

procesamiento de la palma de aceite en Colombia. https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/6969

Toral, M.C.T. & Espinoza, F.G.A. 2018. Análisis correlacional entre la producción del aceite de palma, sus exportaciones y su contribución al PIB agrícola durante el período 2010-2017. Dominio de las Ciencias, 4: 270-283.

Torres, R.; Acosta, A. & Chinchilla, C. 2004. Proyecto comercial de compostaje de los desechos agroindustriales de la palma aceitera. Palmas, 25: 377-387.

Received May 16, 2021.
Accepted August 3, 2021.